

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
17. Juni 2004 (17.06.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/050923 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **C21D 11/00**,  
B21B 37/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/012918

(22) Internationales Anmeldedatum:  
19. November 2003 (19.11.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 56 750.6 5. Dezember 2002 (05.12.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): **SMS DEMAG AKTIENGESELLSCHAFT**  
[DE/DE]; Eduard-Schloemann-Strasse 4, 40237 Düssel-  
dorf (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **PLOCIENNIK**,  
Uwe [DE/DE]; Noldenkothen 21, 40882 Ratingen (DE).  
**PLOCIENNIK**, Christian [DE/DE]; Minoritenstrasse 22,  
40878 Ratingen (DE). **HENSGER**, Karl-Ernst [DE/DE];  
Sandweg 35, 40468 Düsseldorf (DE).

(74) Anwalt: **VALENTIN, Ekkehard**; Valentin, Gihlske,  
Grosse, Hammerstrasse 2, 57072 Siegen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN,  
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,  
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,  
PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN,  
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (BW,  
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,  
ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,  
TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ,  
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF,  
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD,  
TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden  
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen  
eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-  
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-  
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der  
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD FOR PROCESS CONTROL OR PROCESS REGULATION OF A UNIT FOR MOULDING, COOLING  
AND/OR THERMAL TREATMENT OF METAL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR PROOZESSSTEUERUNG ODER PROZESSREGELUNG EINER ANLAGE ZUR UM-  
FORMUNG, KÜHLUNG UND/ODER WÄRMEBEHANDLUNG VON METALL.

(57) Abstract: According to the invention, a method for process control or process regulation of a unit for moulding, cooling and/or  
thermal treatment of metal, in particular for steel or aluminium, whereby the unit is provided with actuators for setting particular  
operating parameters and the method process is based on a method model can be achieved, with which it is possible to adjust online  
desired structural features and, by using structural property relationships, desired material properties can be adjusted, whereby at  
least one current value predictive of the metal structure is recorded online and, depending on said value, suitable process control  
and/or process regulation parameters for acting on the actuators to set desired structure properties of the metal are determined using  
a structural model and the method model on which the process is based.

(57) Zusammenfassung: Um ein Verfahren zur Prozesssteuerung oder Prozessregelung einer Anlage zur Umformung, Kühlung  
und/oder Wärmebehandlung von Metall, insbesondere von Stahl oder Aluminium, wobei die Anlage mit Stellgliedern zur Einstel-  
lung bestimmter Betriebsparameter ausgerüstet ist und dem Verfahrensprozess ein Verfahrensmodell zugrundeliegt, bereitzustellen,  
mit dem es möglich ist, online gewünschte Gefügebesonderheiten und unter Verwendung von Gefüge Eigenschaftsrelationen ge-  
wünschte Werkstoffeigenschaften gezielt einzustellen, sollen online mindestens ein aktueller, für das Metallgefüge aussagekräftiger  
Wert erfasst und in Abhängigkeit dieses Wertes geeignete Prozesssteuerungs- und/oder Prozessregelgrößen zur Einwirkung auf die  
Stellglieder zur Einstellung gewünschter Gefügeeigenschaften des Metalls ermittelt werden unter Nutzung eines Gefügemodells so-  
wie des dem Prozess zugrundeliegenden Verfahrensmodells.

WO 2004/050923 A1

**This Page Blank (uspto)**

5

## **Verfahren zur Prozesssteuerung oder Prozessregelung einer Anlage zur Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung von Metall**

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Prozesssteuerung oder Prozessregelung einer Anlage zur Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung von Metall, insbesondere von Stahl oder Aluminium, wobei die Anlage mit Stellgliedern zur Einstellung bestimmter Betriebsparameter ausgerüstet ist und dem

15 Verfahrensprozess ein Verfahrensmodell zugrundeliegt.

Unter Betriebsparametern werden beispielsweise die Walzenanstellungen in einer Walzstrecke oder die Kühlparameter in einer Kühlstrecke verstanden.

20

Aus der DE 199 41 600 A1 sowie aus der DE 199 41 736 A1 sind Verfahren zur Prozessführung und Prozessoptimierung beim Warmwalzen von Metall bekannt, wobei die vom heißen Metall emittierte elektromagnetische Strahlung als Spektrum online erfasst und ausgewertet wird oder wobei die von einem Röntgenstrahler emittierte elektromagnetische Strahlung des Metalls, hier ein Metallband, durchdringt und auf der Rückseite des Metallbandes online erfaßt und

25 ausgewertet wird, mit der Auswertung kristallografische und/oder Gefügeumwandlungen und/oder chemische Umwandlungen, die bei bestimmten Temperaturen des Metalles erfolgen, ermittelt werden und in Abhängigkeit vom Umwandlungsgrad bzw. vom Umwandlungsverlauf geeignete Prozesssteuer-

30 und/oder Prozessregelgrößen zur Prozeßoptimierung abgeleitet werden und/oder eine online Adaption der Prozessmodelle durchgeführt wird.

35

Es ist ebenfalls bekannt, die Prozesssteuerung alleine mittels Gefügemodellen vorzunehmen. Nach der WO 99/24182 sollen die Betriebsparameter einer hüt- tentechnischen Anlage zur Behandlung von Stahl oder Aluminium mittels eines Gefügeoptimierers in Abhängigkeit der gewünschten Materialeigenschaften des

5 Metalls bestimmt werden. Mittels eines Gefügebeobachters werden die zu erwartenden Material- und Gebrauchseigenschaften ermittelt. Es folgt ein Vergleich zwischen Sollwerten und den von dem Gefügebeobachter ermittelten Werten für die Material- und Gebrauchseigenschaften. Sofern eine Differenz zwischen den beobachteten bzw. berechneten und den ermittelten Werten vor-  
10 liegt, werden die Betriebsparameter, wie Eingangs- und Ausgangstemperatur der Walzstrecke sowie die Reduktionsgrade, verändert.

In der WO 99/24182 sind zudem die Veränderungen des Gefüges von Stahl beim Walzen erläutert, während die DE 199 41 600 A1 bzw. DE 199 41 736 A1  
15 die  $\gamma$ - $\alpha$ -Gefügeumwandlung von Stahl näher beschrieben.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Prozesssteuerung oder Prozessregelung einer Anlage zur Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung von Metall, insbesondere von Stahl oder Aluminium, bereitzustellen, mit  
20 dem es möglich ist, online gewünschte Gefügebesonderheiten und unter Verwendung von Gefüge-Eigenschaftsrelationen gewünschte Werkstoffeigenschaften gezielt einzustellen.

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1  
25 gelöst. Vorteilhafte Weiterentwicklungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Verfahrensgemäß wird vorgeschlagen, dass online mindestens ein aktueller, für das Gefüge aussagekräftiger Wert erfasst und in Abhängigkeit dieses Wertes  
30 geeignete Prozesssteuerungs- und/oder Prozessregelgrößen zur Einwirkung auf die Anlagen-Stellglieder ermittelt werden unter Verwendung eines Gefügemodells, das die während der Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung ablaufenden Festkörperreaktionen beschreibt, sowie des dem Prozess zugrundeliegenden Verfahrensmodells, das zur Sicherstellung des automatisierten  
35 Prozessablaufes dient. Hierzu wird der erfasste aktuelle Ist-Gefügekennwert mit einem vorgegebenen Sollwert verglichen und ein sich ergebender Differenzwert

5 als Regelungsgröße für den Prozess unter Nutzung von Gefüge- und Verfahrensmodellen verwendet.

Die Aufgabe wird durch gezielte Verknüpfung des Verfahrensmodells, einer online Erfassung mindestens eines aktuellen Gefügekennwertes, beispielsweise  
10 am Ende des zu steuernden Prozesses, sowie eines Gefügemodells gelöst. Verfahrensgemäß sollen die Vorhersagemodelle ein Gefügemodell einschließen, d.h. ein Prognosemodell zur Vorhersage der während der Umformung, beispielsweise im Walzwerk, oder einer Abkühlung in der Kühlstrecke ablaufenden Festkörperreaktionen und der sich dabei einstellenden Gefügebesonder-  
15 heiten.

Vorzugsweise soll in Abhängigkeit des für das Gefüge aussagekräftigen erfassten Wertes eine online Adaption des Verfahrensmodells und/oder des Gefügemodells durchgeführt werden. Wenn bei einem Ist-Sollwert-Vergleich die  
20 Differenz einen bestimmten Wert überschreitet, erfolgt eine neue Berechnung des Verfahrensmodells (beispielsweise des Stichplanmodells oder des Kühlstreckenmodells) und des Gefügemodells.

Als der für das Gefüge aussagekräftige Wert wird vorzugsweise ein aktueller  
25 Gefügekorngrößen-Wert und/oder ein Gefügeumwandlungs-Zeitpunkt oder das Gefügeumwandlungs-Zeitintervall erfasst.

Die Erfassung des aktuellen Gefügekennwertes, insbesondere eines Gefügekorngrößen-Wertes, erfolgt bevorzugt mittels Geräten der zerstörungsfreien  
30 Werkstoffprüfung, wie mittels Ultraschallmessgeräten, und hier insbesondere lasergenerierten Ultraschallmessgeräten, sowie Röntgengeräten.

Für die Erfassung der Gefügeumwandlung sollen vorzugsweise das Metall berührende Meßeinrichtungen zur Anwendung kommen. Hierunter fallen Walzkraftmessgeräte sowie Messrollen zur Erfassung von auf das Metallband wirkenden Dehn- und Zugspannungen bei der Umformung. Die mit der  $\gamma$ - $\alpha$ -  
35

5      Umwandlung verbundene Längendehnung des metallischen Stahlgitters kann somit als Maß für die Gefügeumwandlung über diese berührenden Messgeräte erfasst werden.

10      Nach einer weiteren Ausführungsform wird die Umwandlungstemperatur als der für das Gefüge aussagekräftige Wert mittels mindestens einer Temperatur-Erfassungseinheit online erfasst, die jeweils längs zur Metallförderrichtung relativ beweglich angeordnet ist und in Abhängigkeit des zu erwartenden Ortes der Gefügeumwandlung, der nach dem Gefügemodell vorhergesagt wird, positioniert wird. Vorzugsweise sind mehrere Temperatur-Erfassungseinheiten vorge-  
15      sehen.

Nachfolgend wird das vorgeschlagene Verfahren anhand von bevorzugten Ausführungsformen näher beschrieben.

20      Für die Stahlgruppe eines C-Mn-Stahles erfolgt unter Anwendung von Gefügemodellen, ausgehend von der chemischen Zusammensetzung, und unter Berücksichtigung des Stichplans im Walzwerk eine Vorausberechnung der Austenitkorngröße des Gefüges des zu bearbeitenden Metalls zu einem bestimmten Verfahrenszeitpunkt bzw. an einem bestimmten Ort im Prozess. Es  
25      wird online - in diesem Fall bei einem Walzprozess - hinter dem letzten Walzgerüst der Walzstraße die aktuelle Austenitkorngröße des metallischen Gefüges berührungslos bzw. zerstörungsfrei erfasst. Der aktuell erfasste Austenitkorngrößen-Wert wird mit einem vorgegebenen Sollwert für die Größe des Austenitkorns des Gefüges an dieser Stelle im Prozess verglichen. Tritt eine Abwei-  
30      chung zwischen dem Ist- und dem Sollwert auf, wird aus dem Differenz-Wert ein Korrekturwert zur Steuerung der Stellglieder der Walzstraße, unter Nutzung des Gefüge- und Verfahrensmodells, das der Walzstraße zugrundeliegt, abgeleitet und den Stellgliedern entsprechend aufgegeben. Ist beispielsweise die gemessene Austenitkorngröße kleiner als ein Sollwert, wird ein Korrekturwert  
35      auf die Stellglieder für die Zwischengerüstkühlung der Walzstraße aufgegeben, um die Zwischengerüstkühlung zu reduzieren und somit eine Erhöhung der

5 Endwalztemperatur zu erreichen. Durch Erhöhung der Endwalztemperatur wird eine größere Korngröße des austenitischen Gefüges am Ende der Walzstraße eingestellt. Da bereits geringfügige Änderungen der Endwalztemperatur die Austenitkorngröße signifikant beeinflussen, wirkt die Steuerung bzw. Regelung der Anlage noch auf das aktuell behandelte Metallband oder Blech zurück, d.h.  
10 die Einstellung der Korngröße auf den Sollwert ist noch am gleichen Band möglich.

Bei einer weiteren bevorzugten Verfahrensvariante erfolgt die online-Erfassung des aktuellen, für das Gefüge aussagekräftigen Wertes während des Prozesses  
15 der Metallbearbeitung durch Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung an einem bestimmten Punkt, d.h. am Gerüst (n) oder Stich (n) mit einer gezielten Steuerung der Prozeßparameter für die vorherigen Gerüste (n-1) oder Stiche (n-1) in Abhängigkeit des vorgenommenen Ist-Soll-Wertvergleiches.

20 Es wird beispielsweise die Gefügekorngröße des Metallbandes bzw. Metallbleches vor der Umformung im Gerüst (n) einer Warmbreitbandstraße oder vor der Umformung im Stich (n) einer Grobblechstraße erfasst, beispielsweise mit einem Ultraschallgerät. Bei einer zu großen Abweichung des Istwertes von einem Sollwert erfolgt eine neue Berechnung des Verfahrensmodells, insbesondere  
25 des Stichplanmodells, und des Gefügemodells mit Auswirkungen auf die Steuersignale für die Stellglieder der vorherliegenden Gerüste oder die Stellglieder zur Durchführung der vorherigen Stiche, so dass die gewünschte Sollgröße erreicht werden kann. Die Umstellung der vorherigen Gerüste kann schon für das aktuell gewalzte Band oder Blech online erfolgen und/oder für das nachfolgende  
30 Band oder Blech genutzt werden.

Nach einer weiteren bevorzugten Verfahrensvariante erfolgt eine online-Gefügesteuerung in einer Kühlstrecke einer Drahtstraße mit einem Wasserkühlstreckenteil und einem Luftkühlstreckenteil, indem ein aktueller Gefüge-  
35 korngrößen-Wert, hier die Austenitkorngröße, des Metalldrahtes nach Durchlaufen der Wasserkühlstrecke mittels einer Ultraschallmesseinrichtung erfasst

- 5 und die Temperatur der Gefügeumwandlung sowie der zeitliche Verlauf der Gefügeumwandlung, d.h. der  $\gamma$ - $\alpha$ -Umwandlung, mit in Transportrichtung bewegbaren und/oder unterschiedlich ausrichtbaren Temperaturmessenrichtungen erfasst wird. Sofern die erfassten Werte von den geplanten Sollwerten abweichen, erfolgt eine neue Berechnung unter Nutzung der Kühlstrecken- und  
10 Gefügemodelle sowie online eine entsprechende Einstellung der Stellglieder der Kühlstrecke.

Die vorgeschlagene Online-Gefügesteuerung bzw. -regelung findet nicht nur Verwendung auf Warmbreitband-, ggf. auch Dünnbrammenwalz-, Grobblech-,  
15 Profil-, Stabstahl- und Drahtstraßen, sondern auch bei Kaltband- und Aluminiumstraßen.



5

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zur Prozesssteuerung oder Prozessregelung einer Anlage zur Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung von Metall,  
10 wobei die Anlage mit Stellgliedern zur Einstellung bestimmter Betriebsparameter ausgerüstet ist und dem Verfahrensprozess ein Verfahrensmodell zugrundeliegt,  
wobei online mindestens ein aktueller, für das Metallgefüge aussagekräftiger Wert erfasst und in Abhängigkeit dieses Wertes geeignete Prozesssteuerungs- und/oder Prozessregelgrößen zur Einwirkung auf die Stellglieder zur Einstellung gewünschter Gefügeeigenschaften des Metalls ermittelt werden unter Nutzung eines Gefügemodells sowie des dem Prozess zugrundeliegenden Verfahrensmodells.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass in Abhängigkeit des für das Gefüge aussagekräftigen erfassten Wertes eine online Adaption des Verfahrensmodells und/oder des Gefügemodells durchgeführt wird.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass als der für das Gefüge aussagekräftige Wert ein aktueller Gefügekorngrößen-Wert erfasst wird.
- 30 4. Verfahren nach Anspruch 3,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass als Gefügekorngrößen-Wert die Austenitkorngröße bestimmt wird.
- 35 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
**dadurch gekennzeichnet,**

- 5        dass ein aktueller Gefügekorngrößen-Wert am Ende der Anlage zur Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung von Metall erfasst wird.
6.    Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
      **dadurch gekennzeichnet,**
- 10       dass ein aktueller Gefügekorngrößen-Wert während des Prozesses zur Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung von Metall erfasst wird und die in Abhängigkeit dieses Wertes ermittelten Prozesssteuerungs- oder Prozessregelungsgrößen auf die Stellglieder vorherig durchlaufen- der Prozessschritte zurückwirken.
- 15    7.    Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
      **dadurch gekennzeichnet,**
- dass als der für das Gefüge aussagekräftige Wert ein Gefügeumwandlungs-Zeitpunkt oder das Gefügeumwandlungs-Zeitintervall mittels das
- 20       Metall berührenden Meßeinrichtungen online erfasst wird.
8.    Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
      **dadurch gekennzeichnet,**
- dass als der für das Gefüge aussagekräftige Wert die Umwandlungstemperatur mittels mindestens einer Erfassungseinheit online erfasst wird, die
- 25       jeweils längs zur Metallförderrichtung relativ beweglich angeordnet ist und in Abhängigkeit des zu erwartenden Ortes der Gefügeumwandlung, der nach dem Gefügemodell vorhergesagt wird, positioniert wird.
- 30    9.    Verfahren nach Anspruch 8,  
      **dadurch gekennzeichnet,**
- dass mittels mehrerer Erfassungseinheiten jeweils der Ort oder das Zeitintervall des Beginns und des Endes der Gefügeumwandlung erfasst wird.

- 5 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass eine online-Gefügesteuerung in einer Kühlstrecke einer Drahtstraße  
mit einer Wasserkühlstreckenteil und einem Luftkühlstreckenteil erfolgt,  
wobei ein aktueller Gefügekorngrößen-Wert des Metalldrahtes nach  
10 Durchlaufen der Wasserkühlstrecke mittels einer Ultraschallmesseinrich-  
tung erfasst wird und wobei die Temperatur einer Gefügeumwandlung so-  
wie der zeitliche Verlauf der Gefügeumwandlung, insbesondere der  $\gamma$ - $\alpha$ -  
Umwandlung von Stahl, mit in Transportrichtung bewegbaren und/oder  
unterschiedlich ausrichtbaren Temperaturmesseinrichtungen erfasst wird.

15

**This Page Blank (uspto)**